

**SKRIPSI**

**STUDI PENINGKATAN KADAR BIJIH NIKEL LATERIT DENGAN  
METODE KALSINASI MENGGUNAKAN REDUKTOR ARANG  
TONGKOL JAGUNG DAN ADITIF NATRIUM SULFAT**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**SHANY SOFIAH FAUTH  
D111 18 1317**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**STUDI PENINGKATAN KADAR BIJIH NIKEL LATERIT DENGAN  
METODE KALSINASI MENGGUNAKAN REDUKTOR ARANG  
TONGKOL JAGUNG DAN ADITIF NATRIUM SULFAT**

Disusun dan diajukan oleh

**Shany Sofiah Fauth  
D111181317**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 19 Mei 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T.  
NIP 196608172000121001

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virianti Anas, S.T., M.T.  
NIP 197010052008012026

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini ;

Nama : Shany Sofiah Fauth  
NIM : D111181317  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Peningkatan Kadar Bijih Nikel Laterit Dengan Metode Kalsinasi  
Menggunakan Reduktor Arang Tongkol Jagung dan Aditif Natrium Sulfat}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 19 Mei 2023

g Menyatakan  


Shany Sofiah Fauth

## ABSTRAK

**SHANY SOFIAH FAUTH.** *Studi Peningkatan Kadar Bijih Nikel Laterit Dengan Metode Kalsinasi Menggunakan Reduktor Arang Tongkol Jagung dan Aditif Natrium Sulfat (dibimbing oleh Sufriadin)*

Bijih nikel laterit yang mempunyai cadangan lebih banyak, perlu dimanfaatkan secara maksimal, karena cadangan bijih nikel sulfida yang digunakan sebagai sumber Ni terus menurun secara signifikan. Proses pengolahan bijih nikel dapat dilakukan dengan ekstraksi pirometalurgi dan hidrometalurgi. Kalsinasi merupakan tahap pra-smelting berupa pemanasan bijih yang berfungsi untuk melepaskan gas dan uap air dari bijih dalam kondisi reduksi sehingga menghasilkan kalsin. Reduktor yang umumnya digunakan saat kalsinasi pada industri pengolahan nikel yaitu batubara dan kokas, namun dapat juga digunakan karbon berbasis biomassa seperti arang tongkol jagung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan reduktor arang tongkol jagung dan aditif  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  terhadap peningkatan kadar bijih nikel laterit. Penelitian ini menggunakan sampel bijih nikel laterit sebanyak 20 gram yang dianalisis menggunakan metode mikroskopis, XRD dan XRF. Hasil analisis kimia dan mineral bijih nikel laterit menunjukkan bahwa komposisi kimia sampel bijih nikel laterit terdiri dari mineral antigorit, kuarsa, goetit, dan hematit dengan kadar unsur Ni 1,53%, Fe 18,84% dan rasio SM 2,46%. Bijih nikel laterit kemudian dikalsinasi dengan suhu  $1.000^\circ\text{C}$  selama 1 jam dengan variasi penambahan reduktor arang tongkol jagung dan aditif  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebesar 5%, 10%, 15% dan 20%. Setelah kalsinasi bijih nikel laterit kemudian ditimbang dan dianalisis menggunakan metode mikroskopis, XRD dan XRF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar Ni tertinggi mencapai 1,88% pada penambahan reduktor arang tongkol jagung sebanyak 10% tanpa penambahan aditif  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Hal tersebut disebabkan karena arang tongkol jagung memiliki kandungan fixed carbon yang tinggi yang mampu mereduksi senyawa oksida bijih metalisasi nikel sehingga meningkatkan perolehan Ni. Hasil penelitian ini juga menunjukkan penurunan kadar Fe terbesar mencapai 13,20% pada penambahan 20% reduktor arang tongkol jagung tanpa penambahan aditif  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Penurunan kadar Fe yang terjadi dipengaruhi oleh banyaknya reduktor arang tongkol jagung dan aditif  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang dipakai, dimana semakin tinggi jumlah reduktor dan aditif yang digunakan maka semakin rendah perolehan kadar Fe yang di peroleh.

Kata Kunci: Nikel, Laterit, Kalsinasi, Arang, Aditif,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

## ABSTRACT

**SHANY SOFIAH FAUTH.** *Study of Increase in Laterite Nickel Ore Content by Calcination Method Using Corn Cob Charcoal Reductant and Sodium Sulfate Additive* (supervised by Sufriadin)

Lateritic nickel ore, which has more reserves, needs to be optimally utilized because the reserves of nickel sulfide ore used as a source of Ni continue to decrease significantly. Nickel ore processing can be done by pyrometallurgical or hydrometallurgical extraction. Calcination is a pre-smelting stage in the form of heating the ore, which functions to release gas and moisture from the ore under reducing conditions to produce calcine. Reducing agents that are generally used in calcination in the nickel processing industry are coal and coke; however, biomass-based carbon, such as corncob charcoal, can also be used. This study aims to determine the effect of variations in the addition of the reducing agent corncob charcoal and the additive  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  on increasing levels of laterite nickel ore. This study used a sample of 20 grams of lateritic nickel ore, which was analyzed using microscopic methods such as XRD and XRF. The results of chemical and mineral analysis of lateritic nickel ore showed that the composition of the lateritic nickel ore samples consisted of the chemical minerals antigorite, quartz, goethite, and hematite with elements of Ni 1.53%, Fe 18.84%, and SM ratio 2.46%. The lateritic nickel ore was then calcined at 1,000°C for 1 hour with various additions of reducing agent corncob charcoal and 5%, 10%, 15%, and 20%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  additives. After calcination, the nickel ore is then weighed and analyzed using microscopic, XRD, and XRF methods. The results showed that the highest increase in Ni content reached 1.88% with the addition of 10% corncob charcoal reducing agent without the addition of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  additive. This is because corncob charcoal has a high fixed carbon content, which is capable of reducing oxide compounds in nickel laterite ores, thereby increasing the recovery of Ni. The results of this study also showed that the greatest decrease in Fe grade reached 13.20% with the addition of 20% corncob charcoal as a reducing agent without the addition of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  additives. The decrease in Fe content that occurred was influenced by the number of corncob charcoal reducing agents and the  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  additive used, where the higher the number of reductants and additives used, the lower the Fe content obtained.

Keywords: Nickel, Laterite, Calcination, Additive,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	2
1.5 Tahapan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Nikel.....	5
2.2 Nikel Laterit .....	7
2.3 Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit .....	9
2.4 Kalsinasi pada Pengolahan Bijih Nikel Laterit .....	12
2.5 Pengaruh Reduktor dalam Kalsinasi Bijih Nikel Laterit .....	15
2.6 Penggunaan Aditif dalam Proses Kalsinasi .....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Lokasi Penelitian.....	18
3.2 Variabel Penelitian.....	19
3.2 Prosedur Penelitian .....	19
3.2 Bagan Alir Penelitian.....	28
BAB IV .....	29
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Karakterisasi Bahan .....	29
4.2 Pengaruh Penambahan Reduktor Arang Tongkol Jagung terhadap Peningkatan Kadar Ni .....	33
4.3 Pengaruh Penambahan Reduktor Arang Tongkol Jagung dan Aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> terhadap Kadar Ni.....	37
4.4 Pengaruh Reduktor Arang Tongkol Jagung dan Aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> terhadap Penurunan Kadar Fe.....	41
4.5 <i>Recovery</i> Ni dan Fe .....	42
4.6 Pengaruh Penggunaan Reduktor Arang Tongkol Jagung dan Aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> terhadap Rasio Silika Magnesia .....	45
BAB V.....	47
KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 Kesimpulan .....	47
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA .....	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Persebaran Endapan Nikel di Dunia.....	5
Gambar 2	Produksi Nikel Dunia .....	6
Gambar 3	Ringkasan Teknologi Proses Peleburan, Caron, dan HPAL .....	11
Gambar 4	Opsi Pengolahan Bijih Nikel Laterit Terhadap Zona Bijih.....	12
Gambar 5	Peta Lokasi Penelitian .....	18
Gambar 6	Proses <i>quartering</i> sampel .....	20
Gambar 7	Penggerusan sampel menggunakan <i>agate mortar</i> .....	21
Gambar 8	Ayakan 200 mesh ( <i>75 micron</i> ) dan 100 mesh ( <i>150 micron</i> ).....	21
Gambar 9	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	22
Gambar 10	<i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	23
Gambar 11	Mikroskop polarisasi .....	24
Gambar 12	Penimbangan sampel.....	25
Gambar 13	<i>Furnace</i> digunakan untuk proses kalsinasi sampel. ....	27
Gambar 14	Proses kalsinasi .....	27
Gambar 15	Diagram Alir Penelitian .....	28
Gambar 16	Hasil pengamatan mikroskopis sampel awal .....	30
Gambar 17	Difaktogram Sampel Awal.....	30
Gambar 18	SEM fotomikrograf arang tongkol jagung. ....	33
Gambar 19	Pengaruh jumlah reduktor arang tongkol jagung terhadap peningkatan kadar Ni .....	34
Gambar 20	Difaktogram hasil kalsinasi dengan menggunakan reduktor arang tongkol jagung pada suhu 1.000°C.....	35
Gambar 21	Hasil Pengamatan Mikroskopis bijih hasil kalsinasi menggunakan 10% reduktor arang tongkol jagung pada suhu 1.000°C.....	37
Gambar 22	Pengaruh penambahan 10% reduktor arang tongkol jagung dan variasi jumlah aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> terhadap peningkatan kadar Ni.....	38
Gambar 23	Pengaruh Penambahan reduktor arang tongkol jagung dan aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> terhadap peningkatan kadar Ni.....	39
Gambar 24	Difraktogram hasil kalsinasi dengan menggunakan 10% reduktor arang tongkol jagung dan variasi jumlah aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pada suhu 1.000°C .....	40
Gambar 25	Perolehan Kadar Fe dengan metode kalsinasi menggunakan reduktor arang tongkol jagung dan aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	42
Gambar 26	Perolehan Nilai <i>Recovery</i> Ni dari hasil kalsinasi menggunakan reduktor arang tongkol jagung dan aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pada suhu 1.000°C.....	44
Gambar 27	Perolehan Nilai <i>Recovery</i> Fe dari hasil kalsinasi .....	44
Gambar 28	Grafik pengaruh penggunaan reduktor arang tongkol jagung dan aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> terhadap rasio silika magnesia.....	45
Gambar 29	Grafik pengaruh penggunaan reduktor arang tongkol jagung dan aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> terhadap rasio Fe-Ni .....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel 1	Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Pengolahan Bijih Ni Sulfida dan Ni Laterit .....	10
Tabel 2	Fasa Mineral Sampel awal.....	31
Tabel 3	Komposisi Kimia Sampel Awal .....	32
Tabel 4	Hasil Analisis Proksimat Arang Tongkol Jagung.....	33
Tabel 5	Komposisi kimia sebelum dan setelah kalsinasi dengan penambahan reduktor arang tongkol jagung.....	34
Tabel 6	Fasa mineral sebelum dan setelah kalsinasi menggunakan reduktor arang tongkol jagung pada suhu 1.000°C.....	36
Tabel 7	Komposisi kimia mineral sebelum dan setelah kalsinasi menggunakan reduktor arang tongkol jagung dan aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	38
Tabel 8	Fasa mineral sebelum dan setelah kalsinasi menggunakan 10% reduktor arang tongkol jagung dan variasi jumlah aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pada suhu 1.000°C .....	41
Tabel 9	<i>Recovery</i> Ni dan Fe setelah kalsinasi menggunakan reduktor arang tongkol jagung pada suhu 1.000°C.....	43
Tabel 10	<i>Recovery</i> Ni dan Fe setelah kalsinasi menggunakan Aditif Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pada suhu 1.000°C.....	43



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Hasil Analisi XRD.....	53
Lampiran 2 Hasil Analisi XRF .....	63
Lampiran 3 Perhitungan <i>Recovery</i> .....	66
Lampiran 4 Kartu Konsultasi Tugas Akhir.....	72

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr. Wrb.*

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul Studi Peningkatan Kadar Nikel Bijih Laterit Dengan Metode Kalsinasi Menggunakan Reduktor Arang Tongkol Jagung Dan Aditif Natrium Sulfat.

Selama proses penyusunan laporan banyak hal yang telah dilakukan dan dibantu oleh berbagai pihak sehingga laporan ini dapat disusun dengan sebaik mungkin. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT Trimegah Bangun Persada selaku perusahaan yang telah menerima penulis untuk melaksanakan kegiatan penelitian dan membantu sehingga penelitian yang dilakukan berjalan dengan lancar.

Kemudian penulis juga ingin berterima kasih kepada Bapak Dr. Sufriadin, ST., MT. selaku pembimbing penelitian tugas akhir yang telah banyak membantu dalam mengarahkan, dan membimbing penulis sehingga penulis dalam menyelesaikan laporan penelitian akhir ini dengan baik. Tidak lupa kepada Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, MT., Bapak Asta Arjunoarwan Hatta, ST., MT. dan Ibu Rizki Amalia, ST., MT. sebagai dosen penguji pada penelitian tugas akhir ini yang telah mengoreksi dan membantu penulis dalam memperbaiki kesalahan-kesalahan yang telah dilakukan penulis dalam menyelesaikan laporan penelitian tugas akhir ini. Seluruh dosen serta staf administrasi Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang telah membantu dan memudahkan penulis dalam segala urusan selama proses administrasi berlangsung.

Kepada Mahmud Fauth dan Wa Emi, selaku orangtua yang telah memberikan banyak dukungan moril dan materil selama kegiatan dan penyusunan laporan penelitian tugas akhir hingga selesai penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Lalu juga saudara/i TUNNEL 18 (Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2018) yang telah memberikan banyak dukungan, bantuan dan semangat kepada penulis. Penulis menyadari banyak kekurangan yang mungkin terdapat dalam laporan penelitian tugas akhir ini. Terlepas dari hal itu, penulis berharap bahwa laporan ini dapat memberikan manfaat bukan hanya untuk penulis sendiri tapi juga dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Makassar, 19 Mei 2023

Shany Sofiah Fauth

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Nikel merupakan logam yang penting dan mempunyai banyak kegunaan (Kuck & Nickle, 2013). Berdasarkan pembentukannya, bijih nikel diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sulfida dan laterit (Kirk-Othmer, 1998). Sekitar 70% cadangan bijih nikel dunia adalah laterit dan 30% adalah sulfida, sedangkan produksi nikel dunia sebesar 60% berasal dari sulfida dan sisanya berasal dari laterit. Indonesia merupakan negara dengan cadangan nikel laterit nomor 4 terbesar di dunia, yaitu sekitar 12% cadangan nikel dunia (Dalvi, et al., 2004). Sumber daya nikel Indonesia diperkirakan mencapai 2.633 juta Ton ore dengan cadangan sebesar 577 juta ton ore yang tersebar di Sulawesi, Kalimantan, Maluku dan Papua dengan kandungan unsur nikel rata-rata 1,45% (KESDM, 2012).

Bijih nikel laterit yang mempunyai cadangan lebih banyak, perlu dimanfaatkan secara maksimal, karena cadangan bijih nikel sulfida yang digunakan sebagai bahan baku terus menurun secara signifikan (Norgate & Jahanshahi, 2011). Penurunan cadangan nikel kadar tinggi menyebabkan penggunaan bijih nikel kadar rendah, khususnya yang mengandung Ni kurang dari 2% mulai diperhatikan karena berpotensi menjadi bahan baku produksi nikel di masa depan (Lee, et al., 2005). Tidak seperti bijih sulfida, bijih laterit tidak mudah untuk ditingkatkan kadar nikelnya dengan teknologi yang ada pada saat ini sehingga berbagai upaya penelitian terus dilakukan untuk dapat meningkatkan kadar nikel dalam laterit (Pickels, et al., 2014).

Teknik pengolahan bijih nikel laterit melalui pirometalurgi masih terus dikembangkan untuk menghasilkan produk ferronikel kadar tinggi dengan konsumsi energi rendah. Salah satu tahapan pirometalurgi adalah kalsinasi. Proses kalsinasi merupakan suatu metode yang saat ini sedang banyak dikembangkan, dimana dilakukan proses reduksi yaitu penambahan sejumlah reduktor dan aditif untuk membatasi reduksi besi oksida menjadi logam besi, sehingga akan diperoleh konsentrat feronikel yang lebih kaya akan nikel. (Hakim, et al., 2022). Umumnya metode tersebut menggunakan batubara dan kokas sebagai reduktor, namun karena

batubara merupakan sumber energi tidak terbarukan serta tidak ramah lingkungan, maka perlu dicari reduktor alternatif, salah satunya adalah penggunaan arang (Hakim, et al., 2022). Produksi jagung di Indonesia setiap tahunnya menunjukkan peningkatan. Berdasarkan informasi dari Biro Pusat Statistik (2021), produktivitas jagung nasional mencapai 57,09 ku/ha. Dampak dari banyaknya jagung yang dikonsumsi menyebabkan bertambahnya limbah tongkol jagung yang berpotensi mencemari lingkungan. Tongkol jagung memiliki kandungan senyawa karbon yang cukup tinggi. Selain itu juga tongkol jagung memiliki kandungan kadar abu yang rendah yaitu 0,91% (Meilianti, 2020). Berdasarkan hal tersebut, penulis tertarik untuk mengetahui pengaruh penambahan arang tongkol jagung dan aditif natrium sulfat pada percobaan peningkatan kadar bijih nikel laterit menggunakan metode kalsinasi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana komposisi mineralogi dan kimia dari sampel bijih nikel laterit?
2. Bagaimana pengaruh variasi penambahan reduktor arang tongkol jagung terhadap peningkatan kadar bijih nikel laterit?
3. Bagaimana pengaruh penambahan 10% reduktor arang tongkol jagung dan variasi aditif natrium sulfat terhadap peningkatan kadar bijih nikel laterit?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui komposisi mineral dan kimia dari sampel bijih nikel laterit.
2. Menganalisis pengaruh variasi penambahan reduktor arang tongkol jagung terhadap peningkatan kadar bijih nikel laterit
3. Menganalisis pengaruh penambahan 10% reduktor arang tongkol jagung dan variasi aditif natrium sulfat terhadap peningkatan kadar bijih nikel laterit

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian yang akan dilakukan diharapkan menambah wawasan mengenai metode benefisiasi bijih nikel laterit khususnya bijih nikel kadar rendah. Benefisiasi

bijih nikel laterit merupakan proses peningkatan kadar bijih nikel laterit dalam hal ini yaitu nikel bijih nikel laterit. Peningkatan kadar bijih nikel laterit bertujuan agar sebagian besar cadangan bijih nikel laterit yang ada dapat dimanfaatkan dengan maksimal.

## 1.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini akan menguraikan secara runtut tahapan kegiatan penelitian yang telah dilakukan. Kegiatan penelitian yang dilakukan terbagi menjadi beberapa tahapan yaitu:

### 1) Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan yang berisi kegiatan awal sebelum dilakukan penelitian. Tahapan persiapan terdiri dari perumusan masalah yang akan diteliti dalam kegiatan penelitian dan persiapan administrasi yang terkait dalam penelitian, pengumpulan referensi atau literatur mengenai masalah yang diteliti agar dapat menunjang penelitian, serta persiapan bahan-bahan dan alat-alat yang digunakan pada saat penelitian.

### 2) Studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang diawali dengan pengumpulan literatur mengenai masalah yang akan diteliti. Bahan literatur ini dapat dikumpulkan dari jurnal-jurnal penelitian maupun dari buku-buku yang berkaitan dengan masalah yang akan dijadikan sebagai bahan penelitian seperti kajian mengenai bijih nikel, proses pemisahan bijih nikel, metode peningkatan kadar nikel serta literatur yang berasal dari peneliti terdahulu yang berhubungan dengan benefisiasi bijih nikel. Referensi yang telah didapatkan dijadikan sebagai acuan dalam menyelesaikan masalah serta metode penelitian yang akan kita gunakan.

### 3) Penelitian di Laboratorium

Tahapan ini meliputi preparasi sampel, analisis mineralogi sampel awal yang menggunakan XRD dan Mikroskop, analisis kimia sampel awal menggunakan XRF, kemudian dilakukan kalsinasi menggunakan *furnace*. Preparasi sampel adalah kegiatan mempersiapkan sampel sebelum dilakukan analisis lebih lanjut, preparasi sampel dilakukan dengan cara mereduksi ukuran butir sampel hingga ukuran 100 mesh untuk proses kalsinasi dan ukuran 200 mesh untuk

analisis dengan XRD dan XRF. Analisis mikroskopis digunakan untuk mengamati mineral yang ada pada bijih nikel laterit di bawah mikroskop dengan menggunakan sayatan poles.

4) Pengolahan dan Interpretasi Data

Pengolahan data merupakan tahapan mengumpulkan data-data hasil analisis dan mengolah data-data yang telah didapatkan menggunakan Microsoft excel. Analisis data awal nantinya akan dibandingkan dengan analisis data setelah dilakukan pengolahan untuk mengetahui perubahan kadar bijih nikel.

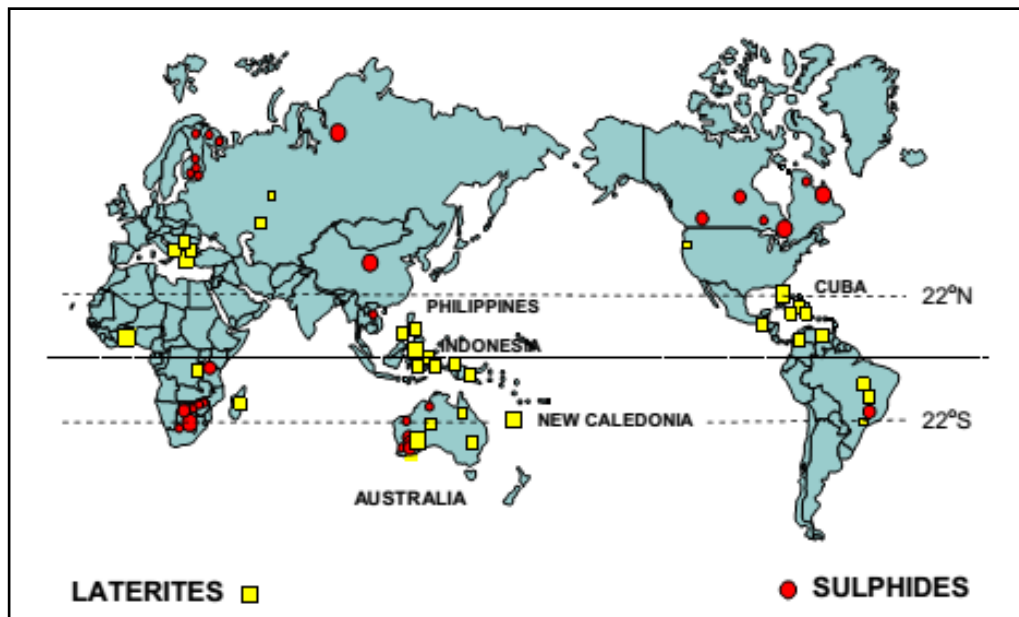
5) Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Tahapan ini merupakan tahapan paling akhir yang dilakukan dalam rangkaian kegiatan penelitian. Seluruh hasil penelitian akan disusun dan dilaporkan secara sistematis sesuai aturan penulisan buku putih yang telah ditetapkan oleh Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nikel

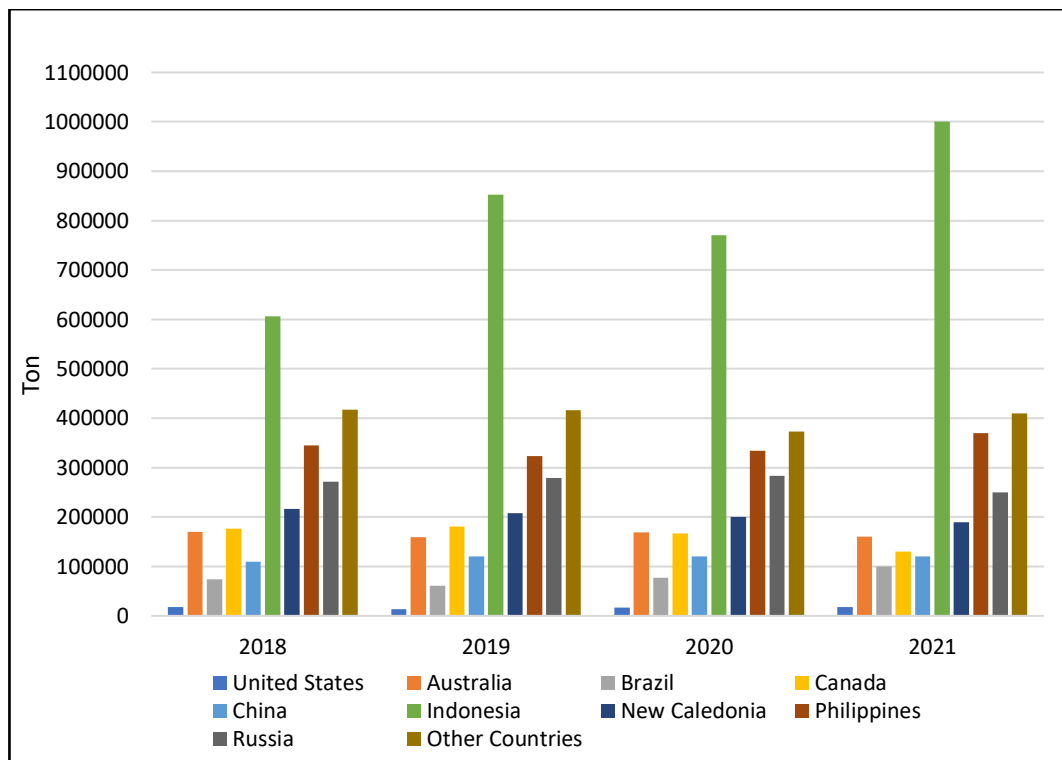
Nikel merupakan logam berwarna perak keputihan yang mempunyai kemampuan untuk menahan terjadinya korosi dan proses oksidasi. Persebaran endapan nikel dunia dapat dilihat pada Gambar 1. Sekitar 45% dari nikel utama yang dikonsumsi masuk ke baja tahan karat dan paduan produksi, 43% menjadi paduan *nonferrous* dan *superalloy*, 7% menjadi elektroplating, dan 5% digunakan untuk kegunaan lain. Nikel yang telah diolah kemudian 34% digunakan di bidang transportasi dan pertahanan, 20% sebagai bahan pembuatan logam fabrikasi, 13% sebagai bahan pembuatan peralatan listrik, masing-masing sebanyak 7% digunakan di industri kimia dan minyak bumi, masing-masing 5% digunakan dalam konstruksi, peralatan rumah tangga, dan mesin industri, dan 4% digunakan untuk keperluan lainnya (Kuck, 2016).



Gambar 1 Persebaran Endapan Nikel di Dunia (Elias, 2002)

Hambatan utama untuk pertumbuhan yang lebih cepat dalam nikel laterit produksi adalah biaya modal yang tinggi dari fasilitas pemrosesan, kebutuhan energi yang tinggi di rute proses pirometalurgi, dan tantangan teknis pembuatan hidrometalurgi pengolahan lebih efisien (Elias, 2002). Karena kegunaannya sangat luas maka pola produksi nikel di dunia cenderung makin meningkat seiring dengan

berkembangnya waktu seperti yang dapat kita lihat pada Gambar 2 (Oxley & Barcza, 2013). Sebagai sumber bahan baku utama nikel, di dunia pada saat ini dikenal 2 jenis sumber yaitu dari bijih sulfida dan bijih nikel laterit yang kemudian digolongkan menjadi 2 jenis yaitu laterit jenis saprolit yang merupakan senyawa silikat/hidrosilikat dan laterit jenis limonit yang merupakan senyawa oksida/hidroksida (Rhamdhani, et al., 2009).



Gambar 2 Produksi Nikel Dunia (McRae, 2020; McRae, 2021; McRae, 2022)

Kebutuhan logam nikel akan terus meningkat, hingga mencapai 140-175% pada Tahun 2025 (Elshkaki, et al., 2017). Sebanyak 75% bijih nikel tersedia di alam dalam bentuk senyawa oksida (laterit), sedangkan sisanya dalam bentuk sulfida. Namun saat ini, penggunaan bijih nikel sulfida (58%) dalam industri pengolahan nikel jauh lebih banyak dibandingkan bijih nikel laterit (42%) (Dalvi, et al., 2004). Nikel dikenal sebagai salah satu komoditas tambang yang cukup besar potensinya di Indonesia. Sumber daya nikel di Indonesia sebagian besar berupa bijih nikel laterit (nikel oksida). Sampai saat ini Indonesia masih mengekspor nikel dalam bentuk bahan mentah (Kyle, 2010).



## 2.2 Nikel Laterit

Nikel laterit merupakan salah satu mineral logam hasil dari proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder (Burger, 1996). Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe (Cahit, et al., 2017). Salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah morfologi, batuan asal dan tingkat pelapukan (Kurniadi, et al., 2017). Tingkat pelapukan yang tinggi sangat berperan terhadap proses lateritisasi (Tonggiroh, et al., 2012).

Proses yang disebut sebagai "lateritisasi" pada dasarnya adalah pelapukan kimia yang terjadi di iklim lembab musiman dalam jangka waktu yang lama dalam kondisi stabilitas tektonik relatif, memungkinkan terbentuknya regolith yang tebal dengan karakteristik yang khas (Butt & Zeegers, 1992). Singkatnya, proses lateritisasi melibatkan pemecahan mineral primer dan pelepasan beberapa komponen kimia menjadi air tanah, pencucian komponen bergerak, residu konsentrasi komponen tidak bergerak atau tidak larut, dan pembentukan mineral baru yang stabil dalam lingkungan pelapukan. Efek bersih dari transformasi mineral dan mobilitas diferensial dari unsur-unsur yang terlibat menghasilkan mantel berlapis atau berlapis dari cuaca bahan yang melapisi batuan induk dari mana ia terbentuk, yang umumnya disebut sebagai "profil laterit" (Elias, 2002). Skema profil laterit dapat kita lihat pada Gambar 4.

Bijih laterit merupakan sumber utama dari nikel. Pelapukan tropis (laterisasi) terdiri dari proses pelapukan mekanik dan kimia yang berkepanjangan yang menghasilkan profil variabilitas yang besar dalam ketebalan, kadar dan kimia dan mineralogi bijih. Nikel laterit terjadi di zona bumi sekarang atau masa lalu yang telah mengalami pelapukan tropis berkepanjangan dari batuan ultramafic yang mengandung mineral ferro-magnesian (*olivine*, *pyroxene*, dan *amphibole*) yang berasosisasi dengan berbagai variasi keadaan geologis yang mencakup zaman Prakambrium hingga Tersier. Batuan ultrabasa terdiri dari dunit (pada dasarnya *monomineralic olivine*), *peridotite* (*olivine*, *pyroxene*, dan *hornblende*), *pyroxenite* (*orthopyroxene* atau *clinopyroxene*), *hornblendite* (*monomineralic hornblende*) dan *serpentinit* (pada dasarnya *serpentin*  $2\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$ ). Serpentin adalah produk paling

umum dari perubahan hidrotermal olivin dengan adanya air pada suhu antara 200°C hingga sekitar 500°C. Proses serpentinisasi terjadi tanpa perubahan volume yang signifikan karena penghilangan sejumlah besar magnesia dan silika yang lebih sedikit. Selama proses ini beberapa nikel bergerak dalam larutan dan beberapa tetap dalam serpentin, atau bergabung dengan magnetit yang merupakan produk samping serpentinisasi. Ada atau tidak adanya serpentin memiliki pengaruh besar pada karakter profil pelapukan. Hal tersebut dapat meningkatkan kandungan nikel dengan menolak batu-batu bermutu rendah, namun dengan perubahan kimia dan kuantitas "bijih" setelahnya (Dalvi, et al., 2004).

Proses terbentuknya nikel laterit dimulai dari proses pelapukan yang intensif pada batuan peridotit, selanjutnya infiltrasi air hujan masuk ke dalam zona retakan batuan dan akan melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan dasar (Sundari, 2012). Mineral dengan berat jenis tinggi akan tertinggal di permukaan sehingga mengalami pengkayaan residu seperti unsur Ca, Mg, dan Si. Mineral lain yang bersifat *mobile* akan terlarutkan ke bawah dan membentuk suatu zona akumulasi dengan pengkayaan (*supergen*) seperti Ni, Mn, dan Co (Golightly, 1979). Nikel laterit jenis limonit dicirikan dengan kadar Fe yang tinggi dan nikel laterit jenis saprolite dicirikan dengan kadar MgO yang tinggi dimana kadar nikel dalam limonit berkisar antara 0,8% sampai dengan 1,5% dan kadar nikel dalam saprolit berkisar 1,8 sampai dengan 3% (Oxley & Barcza, 2013). Pada saat ini,  $\frac{3}{4}$  dari cadangan nikel dunia sebagai laterit, dan produksi nikel dari laterit dunia sekitar 42% (Dalvi, et al., 2004).

Prosesnya dinamis dan bertahap, dan stratifikasi kasar yang terlihat di profil laterit. Lapisan terendah mencerminkan tahap awal pelapukan batuan dasar, dan setiap lapisan lebih jauh mewakili transformasi yang terletak tepat di bawahnya, menunjukkan tahapan proses yang semakin maju. Di bagian paling bawah dari profil (*saprock*), pelapukan terjadi pada kontak antara mineral dan pada batas rekahan dan terdapat banyak batuan segar dan sedikit produk alterasi. Lebih jauh ke atas profil, proporsi mineral primer yang bertahan berkurang, dan lebih kuat zona retak benar-benar diubah akhirnya meninggalkan batu-batu terpisah dari batuan dasar utuh "mengambang" dalam campuran mineral primer dan alterasi di mana struktur batuan utama adalah diawetkan (saprolit). Lapisan yang lebih tinggi

seluruhnya terdiri dari mineral alterasi, dan ditandai oleh akhirnya kehilangan kalsium primer. Zona di atas saprolit disebut pedolit dalam literatur teknis (Butt & Zeegers, 1992), tetapi istilah ini jarang digunakan dalam praktik. Pedolith lebih sering disebut sebagai zona limonit, istilah terakhir yang berasal dari mineralogi dominan (goetit dan hematit) di zona ini dalam oksida laterit (Elias, 2002).

### 2.3 Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Dalam dunia industri, nikel digunakan sebagai bahan paduan baja tahan karat (*stainless steel*), konduktor dan paduan-paduan logam lainnya. Proses pengolahan nikel dapat dilakukan dengan metode ekstraksi pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pilihan teknologi untuk pengolahan bijih nikel laterit umumnya ditentukan berdasarkan parameter tertentu, yang merupakan salah satu alasan mengapa terdapat banyak opsi pemrosesan berbeda yang digunakan saat ini. Namun, opsi pemrosesan ini dapat dikategorikan di bawah beberapa tipe utama yaitu *smelting*, *high pressure acid leaching*, *atmospheric leaching* dan *heap leaching*. Parameter utama yang mempengaruhi pilihan teknologi adalah (Kyle, 2010):

- a. Mineralogi dan kimia bijih
- b. Modal dan Biaya Operasional (terutama untuk bahan habis pakai)
- c. Persyaratan lingkungan\

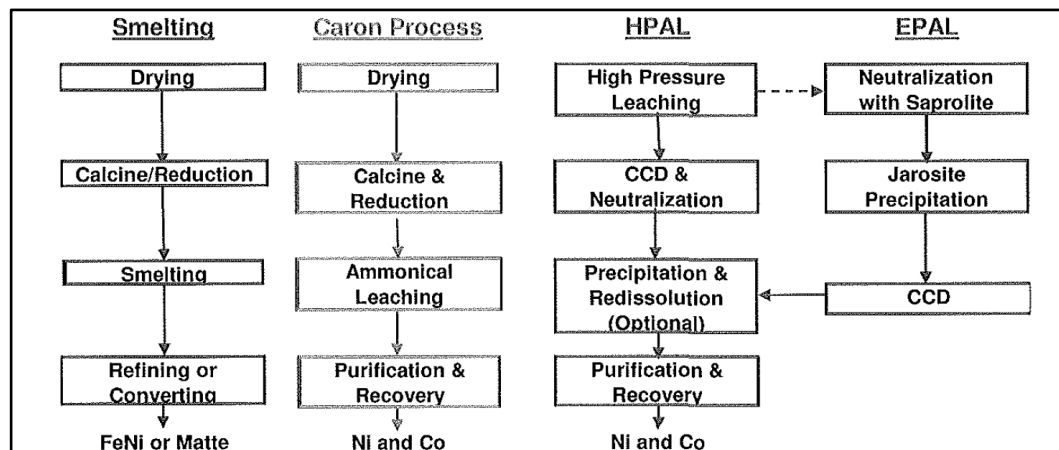
Modal dan biaya operasi pabrik pengolahan, dan pilihan pengolahan dan pilihan pembuangan limbah sama pentingnya dengan mineralogi dan kimia bijih dalam menentukan rute pemrosesan yang paling tepat untuk bijih tertentu. Alasan mengapa produksi nikel laterit tidak sepadan dengan sumber dayanya posisi relatif terhadap nikel sulfida pada dasarnya ekonomis, yang diringkas dalam Tabel 1. Biaya produksi rata-rata tertimbang (biaya yang dialokasikan sepenuhnya setelah dikurangi kredit produk sampingan) nikel yang saat ini dihasilkan dari laterit lebih besar daripada nikel sulfida sekitar 20%. Itu komponen biaya penambangan dari biaya produksi nikel laterit jauh lebih rendah daripada sulfida, yang sebagian besar dihasilkan dari tambang bawah tanah. Pengolahan nikel laterit adalah jauh lebih mahal daripada sulfida, dan lebih dari mengimbangi biaya keuntungan penambangan (Elias, 2002). Pada Tabel 1 dapat melihat ringkasan isu-isu yang relevan dengan keekonomian endapan nikel sulfida dan nikel laterit.

Tabel 1 Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Pengolahan Bijih Ni Sulfida dan Ni Laterit

<i>Ni Sulphides</i>	<i>Ni Laterites</i>
Biaya perawatan lebih rendah daripada laterit - nikel dalam mineral metastabil, yang mengandung energi laten berupa S	Nikel dalam mineralogi oksida stabil yang membutuhkan energi dan/atau penggunaan bahan kimia agresif untuk memisahkan.
Mineral yang mengandung nikel dapat dengan mudah dipisahkan dari material pengotor ( <i>gangue</i> ) di <i>site</i> penambangan. Hanya konsentrat (kelas lebih tinggi, volume yang lebih rendah) mengalami perlakuan lebih lanjut.	Hanya kesempatan langka untuk dapat memisahkan konsentrat mineral yang mengandung nikel, dan harus menerapkan proses perlakuan yang sama untuk semua bijih. Membutuhkan penanganan dalam jumlah besar bahan dengan konsentrasi nikel rendah, dan bahan habis pakai dalam jumlah besar yang harus diangkut ke pabrik.
Bijih dan konsentrat umumnya memiliki karakteristik yang konsisten dalam deposit – mudah untuk mengelola metalurgi.	Variabilitas mineralogi dan kimia jarak pendek yang tinggi, membutuhkan perencanaan yang matang, penambangan dan <i>blending</i> untuk produksi yang konsisten, <i>feed</i> yang dapat diprediksi untuk pabrik pengolahan.
Nilai <i>recovery</i> nikel yang tinggi dari <i>ore</i> mungkin didapatkan dengan hanya satu rute proses.	Komposisi variabel melalui profil membatasi <i>recovery</i> nikel dari hanya pada sebagian sistem dengan satu rute proses yang dilakukan.
Nilai yang tinggi produk sampingan (mis. Cu, PGE) yang dapat membantu mengimbangi biaya perlakuan pada Ni.	Sedikit peluang untuk mendapat keuntungan dari produk sampingan (hanya Co).

Biaya modal yang sedang per unit Biaya modal fasilitas pemrosesan yang kapasitas Ni untuk fasilitas sangat tinggi pengolahan.

Sumber: Elias (2002)

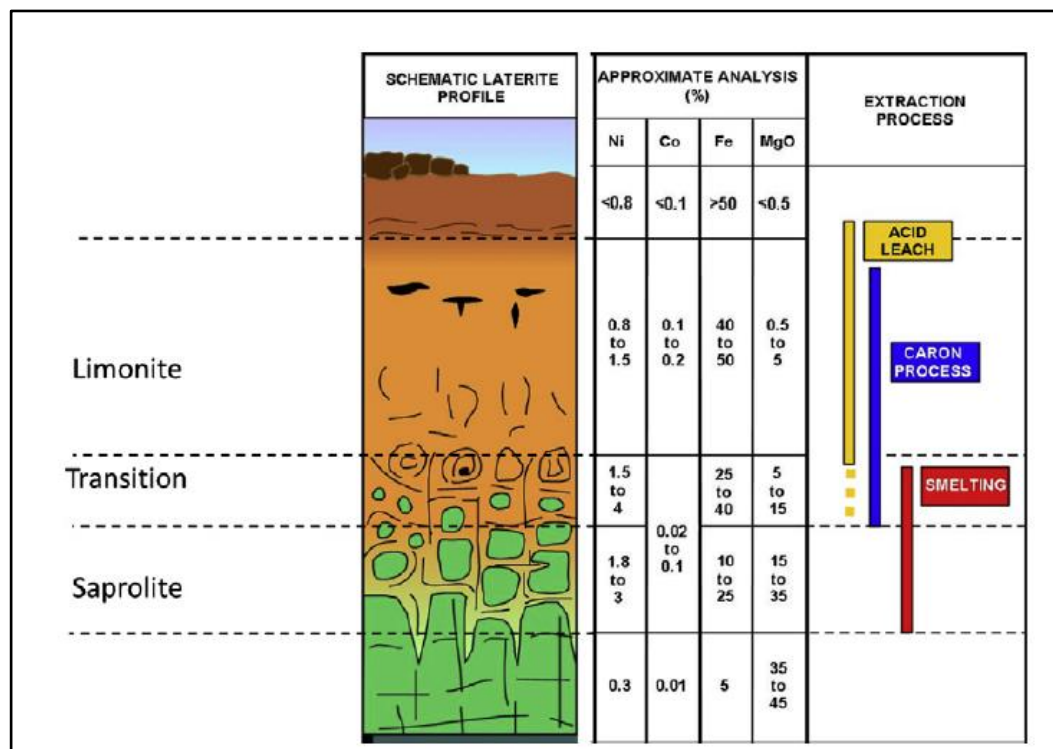


Gambar 3 Ringkasan Teknologi Proses Peleburan, Caron, dan HPAL (Kyle, 2010)

Proses hidrometalurgi, memiliki dua proses utama yang saat ini dipraktikkan adalah proses Caron dan proses pelindian asam tekanan tinggi (HPAL), meskipun proses pelindian asam dengan sedikit modal seperti pelindian tekanan atmosfer (*Atmospheric Leaching*) dan pelindian tumpukan (*Heap Leaching*) sedang dipraktekkan atau di bawah penyelidikan intensif untuk kemungkinan digunakan pada proyek baru (Kyle, 2010). Proses pirometalurgi (*smelting*) merupakan proses pengolahan mineral dengan menggunakan suhu tinggi, panas yang diperoleh berasal dari tanur berbahan bakar batubara (kokas). Selain sebagai bahan bakar, batubara juga berfungsi sebagai reduktor pada proses *smelting*. Nikel laterit jenis saprolit yang memiliki kandungan nikel yang tinggi (>2%) lebih sesuai untuk diolah dengan menggunakan proses ini. Proses ini digunakan untuk memproduksi *ferronickel*, *nickel matte*, atau *nickel pig iron* (Kyle, 2010).

Proses hidrometalurgi sangat kompleks dan panjang (Zheng, et al., 2014), tetapi energinya rendah. Sebaliknya, proses pirometalurgi sederhana tetapi padat energi, dan memiliki persyaratan pada bijih nikel laterit mentah yang mengandung nikel tinggi (Ma, et al., 2016). Untuk mengatasi keterbatasan proses pirometalurgi, para ahli telah mengusulkan mengganti tahap peleburan dengan pemisahan magnetik untuk *recovery* partikel feronikel yang dihasilkan selama tahap *roasting*

(Bahfie, et al., 2021). Rute pemrosesan yang paling umum digunakan saat ini, diringkas pada Gambar 3.



Gambar 4 Opsi Pengolahan Bijih Nikel Laterit Terhadap Zona Bijih (Brand, Butt, & Elias, 1998)

Karena persyaratan berbagai metode pemrosesan dan berbagai macam bahan kimia dan komposisi mineralogi profil laterit, proses paling cocok untuk sebagian profil dapat kita lihat pada Gambar 4 (Kyle, 2010):

1. *Red Limonite* - paling cocok diolah menggunakan HPAL.
2. *Yellow Limonite* - paling cocok diolah menggunakan HPAL dan Caron.
3. *Transition* - paling cocok diolah menggunakan AL, HL dan *smelting*.
4. Serpentin/Garnierit - paling cocok diolah menggunakan *smelting*.

## 2.4 Kalsinasi pada Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit dilakukan dengan menggunakan metode pirometalurgi dan hidrometalurgi maupun campuran keduanya. Metode pirometalurgi merupakan metode ekstraksi nikel dengan proses seperti pengeringan, kalsinasi, reduksi dan *smelting*. Sedangkan metode hidrometalurgi

meliputi leaching pada kondisi atmosfer maupun leaching dengan asam pada tekanan tinggi (Basturkcu & Acarkan, 2016).

Rendahnya kadar nikel dalam bijih nikel limonit menjadi kendala tersendiri dalam produksi nikel. Berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan *recovery* dan presentase dalam ekstraksi nikel, diantaranya adalah dengan melakukan proses kalsinasi serta dengan peningkatan temperatur. Kalsinasi merupakan proses pemanasan suatu bahan atau material dengan menggunakan temperatur tinggi (Kim, et al., 2010).

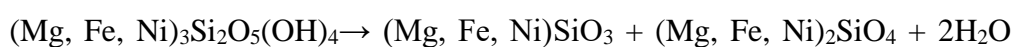
Kalsinasi merupakan proses pemanasan yang berfungsi melepaskan gas dalam bentuk karbonat sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida dan melepaskan air bebas ( $H_2O$ ) dan terikat ( $OH$ ). Suatu struktur kristal pada suatu material dapat mengalami perubahan jika dipanaskan, berubahnya struktur dari material setelah dipanaskan disebabkan oleh peningkatan energi yang memungkinkan atom-atom bergerak yang menyebabkan jarak antar atom pun lebih besar sehingga dapat merubah struktur kristal (Febrini, et al., 2014).

Nikel didapatkan sebanyak mungkin dan metalisasi besi harus ditahan untuk mencapai kondisi reduksi yang optimal dan mendapatkan produk feronikel dengan kadar nikel tinggi. Berkenaan dengan selektivitas reduksi, seleksi ini masih kurang sempurna, karena besi harus metalisasi sampai batas tertentu dan bertindak sebagai pembawa nikel (Pickels & Elliott, 2015). Selain itu, sangat penting untuk memaksimalkan ukuran partikel feronikel sehingga paduan feronikel dapat diperoleh kembali dengan penggilingan berikutnya dan pemisahan magnetik. Peningkatan mineral silikat yang berguna untuk meningkatkan konsentrasi nikel dengan menekan pengurangan oksida besi. Hasil lainnya menunjukkan bahwa penambahan kalsium sulfat sangat mendorong pertumbuhan partikel feronikel. Selain itu, kadar dan tingkat *recovery* nikel dipengaruhi oleh dosis reduktan) (Zhu, et al., 2012).

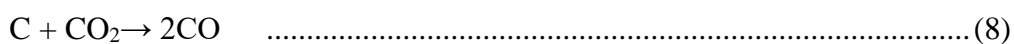
Proses pemisahan reduksi selektif-magnetik untuk mengolah bijih laterit yang mengandung besi tinggi (Ni 1,49%, Fe 34,69%), dengan penambahan natrium sulfat. Produk feronikel dengan kadar nikel 9,87% dan tingkat *recovery* nikel 90,9% yang diperoleh pada kondisi bijih laterit direduksi pada temperatur  $1.200^{\circ}C$  selama 50 menit dengan penambahan 10% berat  $Na_2SO_4$  dan 2% berat batubara (Jiang, et

al., 2013). Reduksi selektif bijih limonitik dengan kadar nikel 1,38% dan kadar besi 45,7%. Digunakan reduksi dua tahap dan proses pertumbuhan termal untuk menghasilkan produk feronikel, sebuah reduksi awal bijih dengan 6% batubara dan penambahan sulfur 4% pada 600°C selama 1 jam, diikuti oleh pertumbuhan partikel selama 1 jam pada 1.000°C. Konsentrat feronikel dengan kadar nikel 4% dan *recovery* nikel 93,2% tercapai. Selain itu, ukuran partikel meningkat dengan meningkatnya temperatur dan waktu proses (Elliott, et al., 2015).

Reaksi (1-8) yang terjadi saat menggunakan reduksi selektif untuk nikel laterit adalah sebagai berikut (Valix & Cheung, 2002; Harris, et al., 2010; Solihin, 2015):



(1)



Realisasi reduksi selektif sangat tergantung pada dua aspek, yaitu mengendalikan atmosfer reduksi yang memiliki korespondensi yang dekat dengan jenis dan dosis reduktor; dan memilih aditif yang sesuai. Aditif yang dapat mengoptimalkan proses reduksi selektif, menghambat reduksi besi, meningkatkan ukuran partikel feronikel, dan meningkatkan efek pemisahan magnetik selanjutnya. Pertumbuhan partikel feronikel dalam tahap pemanggangan reduksi cukup penting untuk menentukan apakah pemisahan efektif partikel feronikel dari pengotor selama tahap pemisahan magnetik selanjutnya dapat dicapai, yang didominasi oleh temperature reduksi, waktu proses dan aditif yang sesuai (Bahfie, et al., 2021).



## 2.5 Pengaruh Reduktor dalam Kalsinasi Bijih Nikel Laterit

Penambahan reduktor berkaitan dengan reaksi karbotermik yang bertujuan untuk menghilangkan oksida pada bijih sehingga terbentuk metal (Mayangsari & Prasetyo, 2016). Penambahan sejumlah reduktor dan aditif untuk membatasi reduksi besi oksida menjadi logam besi, sehingga akan diperoleh konsentrat feronikel yang lebih kaya akan nikel (Hakim, Sanwani, Sari, & Nurjaman, 2022).

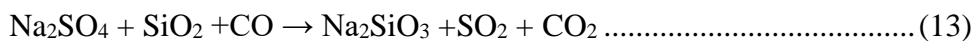
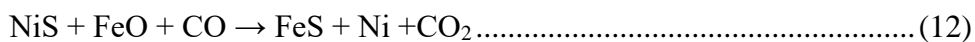
Efek penambahan batubara, belerang, pirit, dan natrium sulfat, dan temperatur reduksi dalam kisaran 1.000-1.200°C pada reduksi selektif limonit dan saprolit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan belerang ke dalam limonit lebih cocok untuk saprolit. Peningkatan penambahan karbon dan sulfur dan temperatur reduksi yang lebih tinggi menyebabkan pembentukan paduan feronikel yang menurunkan kadar nikel. Untuk sampel limonit dengan penambahan sulfur 4% pada temperatur reduksi 1100°C selama 1 jam, ukuran partikel feronikel rata-rata 1,59  $\mu$  m tercapai, dibandingkan dengan 1,01  $\mu$  m untuk bijih yang sama dan kondisi reduksi tanpa penambahan sulfur. Sementara untuk saprolit, penambahan sulfur mengurangi ukuran rata-rata partikel feronikel. Oleh karena itu penelitian ini mengingatkan bahwa dalam proses mengoptimalkan kondisi reduksi selektif, pemilihan aditif yang sesuai untuk bijih laterit yang berbeda merupakan hal penting untuk dilakukan (Elliott R. S., 2015).

Kenaikan kandungan batubara dalam pelet nikel laterit dari 5% menjadi 15% tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap kenaikan kadar nikel dalam konsentrat. Akan tetapi apabila kandungan batubara dalam pelet dinaikkan menjadi 20% maka kadar nikel dalam konsentrat naik menjadi 5,20%, dan perolehan nikel serta besi dalam konsentrat turun masing-masing menjadi 30,17% dan 26,14%. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya kandungan batubara maka kandungan silikat yang berasal dari batubara dalam hasil reduksi juga meningkat (Subagja, et al., 2016).

## 2.6 Penggunaan Aditif dalam Proses Kalsinasi

Penambahan dosis natrium sulfat dapat menurunkan metalisasi Fe yang dapat kita lihat pada reaksi (8-12) dikarenakan terbentuknya senyawa FeS dengan titik lebur yang rendah, yaitu 980°C, sehingga meningkatkan laju transfer massa ion-ion

logam selama proses reduksi dan menyebabkan partikel feronikel mengalami agregasi (Li, et al., 2012; Rao, et al, 2016a; Nurjaman, et al., 2019).  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dapat meningkatkan reduksi nikel laterit dengan membebaskan besi dan nikel dari lizardit tersubstitusi Ni/Fe dan meningkatkan ukuran partikel feronikel untuk secara signifikan meningkatkan kandungan dan laju *recovery* nikel. Troilit yang dihasilkan dalam sistem reduksi berfungsi sebagai zat pengaktif untuk mempercepat pembentukan fasa peleburan, sehingga memfasilitasi agregasi partikel feronikel selama reduksi selektif nikel dengan menekan metalisasi besi secara sempurna (Li, et al., 2012).  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dapat terurai menjadi  $\text{Na}_2\text{O}$  dan S dalam kondisi 1 atm, dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  juga direduksi menjadi  $\text{Na}_2\text{S}$ . S dan  $\text{Na}_2\text{S}$  bermanfaat untuk reduksi selektif Ni karena pembentukan FeS (Jiang, et al., 2013).  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  bereaksi dengan CO dan membentuk  $\text{Na}_2\text{S}$ , yang kemudian bereaksi dengan  $\text{SiO}_2$  pada permukaan FeO untuk menghasilkan FeS dan  $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ . Akibatnya, lapisan tipis FeS terbentuk di permukaan dan menghalangi kontak antara reduksi gas dan FeO sehingga reduksi besi terjadi (Liu, et al., 2015). Dengan penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , reduksi selektif bijih nikel laterit oleh  $\text{H}_2$  dalam reaktor terfluidasi.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dapat mengontrol kinetika pada bijih laterit dan menunjukkan aktivitas katalitik ketika temperatur mencapai lebih dari  $750^\circ\text{C}$ . Ini juga menunjukkan bahwa waktu reduksi memengaruhi proses reduksi besi oksida (Lu, et al., 2013).



Sulfur dari  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  akan bereaksi dengan besi dalam bijih laterit untuk membentuk FeS yang dapat menurunkan temperatur fusi karakteristik untuk mendorong pertumbuhan partikel feronikel. Dengan kata lain,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  bermanfaat bagi reduksi selektif dengan mengurangi rasio metalisasi besi melalui sulfida besi oksida (Rao, et al., 2016a; Rao, et al., 2016b). CaO cocok sebagai aditif untuk menyesuaikan sifat kebasahan bijih laterit saprolitik selama pemisahan reduksi-magnetik. CaO yang ditambahkan pada kisaran dosis yang tepat akan menjadi

pengotor pada partikel feronikel (Li, et al., 2015; Liu, et al., 2015).  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  sebagai aditif akan bertindak sebagai garam alkali dan juga sebagai agen vulkanisasi, berkontribusi terhadap konsentrasi feronikel yang efisien (Pengzheng, et al., 2016).  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  cocok sebagai aditif untuk meningkatkan reduksi dan benefisiasi nikel dengan bereaksi dan mineral bijih laterit nikel untuk mengubah struktur kristal bijih nikel laterit (Li, et al., 2011).

Penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ke dalam bijih laterit menyebabkan peningkatan intensitas fasa FeS dan penurunan intensitas fasa  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Fasa FeS yang terbentuk merupakan hasil reaksi antara besi dengan belerang. Pada saat campuran bijih nikel laterit dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dipanaskan maka,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  terurai menjadi  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$  dan S. Belerang yang terbentuk kemudian akan bereaksi dengan besi membentuk FeS, sedangkan  $\text{Na}_2\text{O}$  akan bereaksi dengan silikat membentuk senyawa natrium silikat yang mempunyai titik leleh rendah. Adanya fasa FeS dan natrium silikat yang mempunyai titik leleh rendah akan melarutkan partikel-partikel logam dan mempercepat proses perpindahan masa partikel logam sehingga memacu pertumbuhan pertumbuhan partikel logam. Terbentuknya ukuran partikel logam yang relatif besar akan mempermudah proses peningkatan kadar logam dengan alat pemisah magnet (Subagja, et al., 2016).